

学位被授与者氏名	Admir Barolli
学位の名称	博士（工学）
学位番号	博（二）第2号
学位授与年月日	平成24年3月20日
論文題目	Application of Genetic Algorithms for Mobile Ad-hoc Networks and Wireless Mesh Networks
論文題目 （英訳または和訳）	無線アドホック・ネットワークと無線メッシュ・ネットワークのための遺伝的アルゴリズムの応用
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査：福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 内田 一徳 同審査委員：福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 松永 利明 同審査委員：福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 西田 茂人 同審査委員：福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 スーチュ・クラウデュー ガァレンティン
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 （和文）	<p>本論文では、無線アドホック・ネットワークの QoS 経路制御と無線メッシュ・ネットワークにおけるメッシュノード配置のための遺伝的アルゴリズムの応用について議論している。一般に、無線アドホック・ネットワークの多くの経路制御手法は、ベストエフォート・トラフィックにおける解決策となっている。しかし接続におけるサービス品質（QoS）要件として、音声チャンネルで用いられるような遅延時間と帯域幅の制約は考慮されていない。QoS を考慮した経路制御はますます注目されてきているが、多くの評価指標を考慮した最短経路の探索は NP 完全問題となるので、マルチパス制約の QoS 経路制御には、近似解とヒューリスティック・アルゴリズムを採用する必要がある。また経路制御手法は適応力に富み、かつ柔軟で知的でなければならない。そこで本論文では、無線アドホック・ネットワークの QoS ルーティングに対して、遺伝的アルゴリズム (GA) と多目的最適化の手法を用いている。</p> <p>無線メッシュ・ネットワークでは、いくつかの最適化問題が提案されている。これらはネットワークの接続性、範囲及び安定性の最適化に関連している。この問題を解決しておくことは、ネットワーク性能の最適化にとって極めて重要である。無線メッシュ・ネットワークの場合、この問題にはネットワーク性能の最適化に必要なメッシュ・ルータ・ノード配置の計算が含まれる。しかし、これらの最適化問題を解決するのは困難である。そこで最近では、効果的な解決方法として GA を用いることが検討されている。</p> <p>この論文では、GAMAN と呼ぶ GA を用いた無線アドホック・ネットワークのためのシミュレーション・システムを実装すると共に、無線メッシュ・ネットワークのための WMN-GA と呼ばれるシミュレーション・システムも実装した。そこで実装したシミュレーションによって、提案したヒューリスティック手法の性能評価を行った。その結果、従来の GAMNA-1 と GLBR アルゴリズムとの比較によって、提案する GAMAN が無線アドホック・ネットワークにおける QoS 経路制御に対して有望なアルゴリズムであることを明らかにした。また、異なったクライアントとメッシュ・ルータの分布及び異なった GA 操作を用いることによって、提案した WMN-GA システムの評価を行った。その結果、提案システムは無線メッシュ・ネットワークに対して非常に良いパフォーマンスを示すことが分かった。</p> <p>本研究で実現できた主要な結果は、無線アドホック・ネットワークのための GAMAN アルゴリズムの設計と実装、多目的最適化のための提案されたアプローチの拡張、無線メッシュ・ネットワークのメッシュ・ルータ配置問題のための WMN-GA システムの設計と実装、GAMAN のための遺伝子コーディング手法の提案、WMN-GA のための新しい GA 操作の提案、QoS 経路制御のための GAMAN の評価及びノード配置問題のための WMN-GA 手法の評価である。</p> <p>論文の構成は次のようになる。第1章では、論文の背景、目的、および概要を紹介する。第2章では、遺伝的アルゴリズムについて説明する。第3章では、無線ネットワークについて紹介する。第4章では、遺伝的アルゴリズムに基づいたGAMANアルゴリズムについて述べる。第5章では、提案したWMN-GAシステムについて説明する。第6章では、GAMANアルゴリズムの評価について議論する。第7章では、WMN-GAシステムの評価</p>

	<p>について議論する。第8章では、本研究の結論と今後の研究について述べる。</p>
<p>論文内容の要旨 (英文)</p>	<p>In this thesis, we consider application of Genetic Algorithms (GAs) for QoS Routing in Mobile Ad-hoc Networks (MANETs) and node placement in Wireless Mesh Networks (WMNs). In general, most of routing solutions in MANETs deal with the best effort data traffic. Connections with Quality of Service (QoS) requirements, such as voice channels with delay and bandwidth constraints, are not supported. The QoS routing has been receiving increasingly intensive attention, but searching for the shortest path with many metrics is an NP-complete problem. For this reason, approximated solutions and heuristic algorithms should be developed for multi-path constraints QoS routing. Also, the routing methods should be adaptive, flexible, and intelligent. For this reason, we use Genetic Algorithms (GAs) and Multi-objective Optimization for QoS routing in MANETs.</p> <p>In WMNs, several optimization problems are appearing. Such problems are related to optimizing network connectivity, coverage and stability. The solution of these problems turns out to be crucial for optimized network performance. In the case of WMNs, such problems include computing placement of mesh router nodes so that network performance is optimized. However, as these optimization problems are known to be computationally hard to solve, GAs have been recently investigated as effective resolution methods.</p> <p>We have implemented a simulation system for ad-hoc networks using GA called GAMAN and another simulator for mesh networks called WMN-GA. We evaluate the performance of proposed heuristic methods by computer simulations. We evaluated GAMAN and we have shown that the GAMAN algorithm has better behavior than previous GAMAN-1 and GLBR algorithms and is a promising algorithm for QoS routing in MANETs. We also evaluate the performance of the proposed WMN-GA system by using different distributions of client and mesh routers and different GA operators. We found that the proposed system has a very good behavior.</p> <p>Our work has the following contributions: design and implementation of GAMAN algorithm for ad-hoc networks; extension of proposed approach for multi-objective optimization; design and implementation of WMN-GA system for mesh router placement problem in WMNs, propose a new gene coding method for GAMAN; proposed new GA operators for WMN-GA; evaluation of GAMAN for QoS Routing; and evaluation of WMN GA-based method for node placement problem.</p> <p>The thesis is organized as follows. In Chapter 1, we introduce the background, the purpose and the outline of this thesis. In Chapter 2, we present an overview of GAs. In Chapter 3, we provide an introduction for wireless networks. Chapter 4 introduces our proposed QoS routing method for MANETs. Chapter 5 presents application of GA for WMNs. In Chapter 6, we give evaluation results for MANETs. In Chapter 7, we present the evaluation results for WMNs. Chapter 8 concludes this thesis. We give the conclusions and future work.</p>
<p>論文審査結果</p>	<p>本論文では、無線アドホック・ネットワークのサービス品質 (QoS) 経路制御と無線メッシュ・ネットワークにおけるメッシュノード配置のための遺伝的アルゴリズムの応用について研究を行っている。これまで無線アドホック・ネットワークの経路制御については、ベストエフォート・トラフィック手法に基づいて解決策を論じる場合がほとんどで、接続の要件としてQoSを考慮することはなかった。QoSを考慮した場合、多くの評価指標に基づいて最短経路を探索しなければならず、この問題はNP完全問題となる。その結果、近似解とヒューリスティック・アルゴリズムが重要となるが、経路制御手法には適応力、柔軟性と知的処理能力が必要とされる。そこで本研究では、無線アドホック・ネットワークのQoSルーティングに対して、遺伝的アルゴリズム (GA) と多目的最適化を用いている。また無線メッシュ・ネットワークに対しては、ネットワークの接続性と範囲及びその安定性について多くの研究報告がなされ、またいくつかの最適化問題も提案されている。特に無線メッシュ・ネットワークの場合、ネットワークの性能向上のための最適化を行うためには、メッシュ・ルータ・ノードの最適配置が重要となる。しかし、</p>

これらの最適化問題を解決するのは一般に困難であるため、効果的な解決方法として、本研究ではGAを用いて検討している。

本研究では、GAMANとWMA-GAシステムを提案し、実装も行っている。シミュレーションによって、提案したヒューリスティック手法の性能評価を行った。従来のGAMNA-1とGLBRアルゴリズムとの比較によって、GAMANが無線アドホック・ネットワークにおけるQoS経路制御のための有望なアルゴリズムであることを明らかにした。また、異なったクライアントとメッシュ・ルータの分布や異なったGA操作を用いることによって、提案したWMN-GAシステムの評価も行った。その結果、提案システムが非常に良いパフォーマンスを示すことができた。このように本研究の成果は、次のように多岐に亘っている。すなわち、無線アドホック・ネットワークのためのGAMANアルゴリズムの設計と実装、多目的最適化のための提案されたアプローチの拡張、無線メッシュ・ネットワークのメッシュ・ルータ配置問題のためのWMN-GAシステムの設計と実装、GAMANのための遺伝子コーディング手法の提案、WMN-GAのための新しいGA操作の提案、QoS経路制御のためのGAMANの評価、さらにはノード配置問題のためのWMN-GA手法の評価である。このように本研究の内容は、他の研究者によって報告されていない多くの研究結果を含んでおり、学位論文として十分な価値があると認められる。

論文の構成は次のようになる。第1章では、論文の背景、目的及び概要を紹介する。第2章では、遺伝的アルゴリズムについて説明する。第3章では、無線ネットワークについて紹介する。第4章では、遺伝的アルゴリズムに基づいたGAMANアルゴリズムについて述べる。第5章では、提案したWMN-GAシステムについて説明する。第6章では、GAMANアルゴリズムの評価について議論する。第7章では、WMN-GAシステムの評価について紹介する。第8章では、本研究の結論と今後の課題について述べる。

本研究の成果として、学術論文が11編（第1著者6編）、国際会議が17編（第1著者6編）となっている。また、国際会議BWCCA-2011ではBest Paper賞を受賞しており、本研究の新規性及び有用性及び国際性が認められる。以上の理由により、審査委員会は論文提出が学位論文の内容として適合すると判定した。

学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切に回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。

以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。

<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 28編1冊</p> <p>(学術論文)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>A. Barolli</u>, M. Takizawa, F. Xhafa, L. Barolli, "Application of Genetic Algorithms for QoS Routing in Mobile Ad-Hoc Networks: Approaches and Solutions", International Journal of Business Intelligence and DataMining (IJBIDM), Vol. 6, No. 3, pp. 215-236, 2011.</li> <li>2. F. Xhafa, <u>A. Barolli</u>, C. S`anchez, L. Barolli, "Simulated Annealing Algorithm for Router Nodes Placement Problem in Wireless Mesh Networks", Simulation Modelling Practice and Theory (SIMPAT), Elsevier, Vol Vol. 19. pp. 2276-2284, 2011.</li> <li>3. S. Sawamura, <u>A. Barolli</u>, A. Aikebaier, T. Enokido, M. Takizawa, "Design and Evaluation of Algorithms for Obtaining Objective Trustworthiness on Acquaintances in Peer-to-Peer (P2P) Overlay Networks", International Journal of Grid and Utility Computing (IJGUC), Inderscience, Vol. 2. No. 3, pp. 196-203,</li> </ol>
---------------	---

2011.

4. A. Barolli, E. Spaho, L. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "QoS Routing in Ad-Hoc Networks Using GA and Multi-Objective Optimization", Mobile Information Systems(MIS), IOS Press, Vol. 7, No. 3, pp. 169-188, 2011.
5. A. Barolli, F. Xhafa, C. S`anchez, M. Takizawa, "A Study on the Performance of Local Search vs. Population-based Methods for Mesh Router Placement Problem", In Press, Journal of Intelligent Manufacturing, Journal of Intelligent, Manufacturing, DOI: 10.1007/s10845-011-0507-7, 2011.
6. A. Barolli, F. Xhafa, Ch. S`anchez, M. Takizawa, "A Study on the Effect of Mutation in Genetic Algorithms for Mesh Router Placement Problem in Wireless Mesh Networks", Accepted, To appear in International Journal of Computer Systems Science and Engineering (IJCSSE), 2012.
7. A. Barolli, M. Takizawa, T. Oda, E. Spaho, L. Barolli, K. Uchida, F. Xhafa, "Performance Evaluation of WMN-GA Simulation System for Different Settings of Genetic Operators Considering Giant Component and Number of Covered Users", Accepted, To Appear in International Journal of Distributed Systems and Technologies (IJDST), 2012.
8. T. Oda, A. Barolli, F. Xhafa, L. Barolli, M. Ikeda, M. Takizawa, "WMN-GA: A Simulation System for WMNs and Its Evaluation Considering Selection Operators", Accepted, To Appear in Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (JAIHC), Springer, 2012.
9. T. Oda, A. Barolli, E. Spaho, F. Xhafa, L. Barolli, M. Takizawa, "Evaluation of WMN-GA for Different Mutation Operators", Accepted, To Appear in International Journal of Space-Based and Situated Computing (IJSSC), Inderscience, 2012.
10. T. Oda, A. Barolli, F. Xhafa, L. Barolli, M. Ikeda, M. Takizawa, "Performance Evaluation of WMN-GA for Different Mutation and Crossover Rates Considering Number of Covered Users Parameter", Accepted, To Appear in Mobile Information Systems (MIS), IOS Press, 2012.
11. A. Barolli, T. Oda, F. Xhafa, L. Barolli, M. Takizawa, K. Uchida, "Evaluation of WMN-GA for Different Mutation and Crossover Rates Considering Giant Component Parameter", Accepted, To Appear in Journal of Interconnection Networks, World Scientific Publishing, 2012.

(国際会議論文)

1. F. Xhafa, C. Sanchez, A. Barolli, R. Miho, L. Barolli, M. Takizawa, "Tuning Operators of Genetic Algorithms for Mesh Routers Placement Problem in Wireless Mesh Networks", Proc. of BWCCA-2010, Fukuoka, Japan, pp. 80-87, November 2010.
2. A. Barolli, M. Takizawa, F. Xhafa, L. Barolli, "Application of Genetic Algorithms for QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks: A Survey", Proc. of BWCCA-2010, Fukuoka, Japan, pp. 250-259, November 2010.

3. S. Sawamura, A. Barolli, A. Aikebaier, V. Barolli, M. Takizawa, "Two Types of Trustworthiness of Acquaintances in Peer-to-Peer (P2P) Overlay Networks", Proc. of BWCCA-2010, Fukuoka, Japan, pp. 320-327, November 2010.
4. L. Barolli, Gj. Mino, T. Ikebata, A. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "Performance Evaluation and Comparison of Fuzzy-based Intelligent CAC Systems for Wireless Cellular Networks", Proc. of IEEE INCoS-2010, Thessaloniki, Greece, pp. 177-184, November 2010.
5. S. Sawamura, A. Barolli, A. Aikebaier, M. Ikeda, M. Takizawa, "Objective Trustworthiness of Acquaintances in Peer-to-Peer (P2P) Overlay Networks", Proc. of IEEE AINA-2011, Singapore, pp. 167-174, March 2011.
6. A. Barolli, F. Xhafa, C. S`anchez, M. Takizawa, "A Study on the Performance of Search Methods for Mesh Router Nodes Placement Problem", Proc. of IEEE AINA-2011, Singapore, pp. 756-763, March 2011.
7. A. Barolli, F. Xhafa, C. S`anchez, M. Takizawa, "A Study on the Effect of Mutation in Genetic Algorithms for Mesh Router Placement Problem in Wireless Mesh Networks", Proc. of CISIS-2011, Seoul, Korea, pp. 32-39, June-July 2011.
8. T. Oda, A. Barolli, E. Spaho, F. Xhafa, L. Barolli, M. Takizawa, "A GA-based System for WMN and Its Performance Evaluation for Different Scenarios", Proc. of CISIS-2011, Seoul, Korea, pp.402-408, June-July 2011.
9. A. Barolli, E. Spaho, L. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "Application of GA and Multi-Objective Optimization for QoS Routing in Ad-hoc Networks", Proc. of NBiS-2011, Tirana, Albania, pp. 50-59, September 2011.
10. A. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "Optimization Problems and Resolution Methods for Node Placement in Wireless Mesh Networks", Proc. of NBiS-2011, Tirana, Albania, pp. 126-134, September 2011.
11. T. Oda, A. Barolli, E. Spaho, F. Xhafa, L. Barolli, M. Takizawa, "Performance Evaluation of WMN Using WMN-GA System for Different Mutation Operators", Proc. of NBiS-2011, Tirana, Albania, pp. 400-406, September 2011.
12. A. Barolli, T. Oda, E. Spaho, F. Xhafa, L. Barolli, M. Takizawa, "Effects of Mutation and Crossover in Genetic Algorithms for Node Placement in WMN Considering Giant Component Parameter", Proc. of BWCCA-2011, Barcelona, Spain, pp.18-25, October 2011.
13. F. Xhafa, C. Christian Sanchez, A. Barolli, M. Takizawa, "A Tabu Search Algorithm for Efficient Node Placement in Wireless Mesh Networks", Proc. of IEEE INCoS-2011, Fukuoka, Japan, pp. 53-59, November-December 2011.
14. T. Oda, A. Barolli, E. Spaho, F. Xhafa, L. Barolli, "Effects of Mutation and Crossover in Genetic Algorithms for Node Placement in WMNs Considering Number of Covered Users Parameter", Proc. of IEEE INCoS-2011, Fukuoka, Japan, pp. 188-195, November-December 2011.
15. L. Barolli, E. Spaho, T. Oda, A. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "Performance Evaluation for Different Settings of Crossover and Mutation Rates Considering

Number of Covered Users: A Case Study”, accepted in Proc. of MoMM-2011, Ho Chin Minh City, Vietnam, pp. 110-115, December 2011.

16. T. Oda, A. Barolli, E. Spaho, F. Xhafa, L. Barolli, M. Takizawa, K. Uchida, “Effect of Population Size for Node Placement in WMNs Considering Giant Component and Number of Covered Users Parameters”, Accepted, To appear in Proc. of IEEE AINA-2012, Fukuoka, Japan, March 2012.

17. F. Xhafa, J. Sun, A. Barolli, M. Takizawa, K. Uchida, “Evaluation of Genetic Operators of a GA for Ground Station Scheduling”, Accepted, To appear in Proc. of IEEE AINA-2012, Fukuoka, Japan, March 2012.